

Ferritringkerne zur Störunterdrückung

Hans Gall, DK3YD

1 Einleitung

Beim Betrieb von Amateurfunkstationen können unangenehme EMV-Probleme auftreten. Störungen des Empfangs durch den Stations-PC und Direkteinstrahlung in Geräte der Unterhaltungselektronik beim Senden sind hierfür typische Beispiele.

Vielen Funkamateuren ist bekannt, daß man Ferritkerne zur Vermeidung dieser Störungen einsetzen kann. Bezüglich der Wahl des geeigneten Materials und der Wickeltechnik besteht aber oft Unklarheit.

In diesem Beitrag will ich versuchen, die Wirkungsweise solcher Verdrosselungsmaßnahmen zu erklären, praxisbezogene Hinweise zur Materialauswahl und Herstellung geben und Meßergebnisse vorstellen.

2 Störsituation an der Amateurfunkstation

Als ich im Jahr 1990 erstmals einen 8086er-PC an meiner Station in Betrieb nahm, traten Empfangsstörungen auf, die besonders im 15m- und 10m-Band die Aufnahme schwacher Signale stark beeinträchtigten. Auf die Anwendung des Programms CT von Ken Wolff, K1EA, beim Kontestbetrieb wollte ich aber nicht mehr verzichten, so daß ich den PC nicht wieder aus meiner Station entfernen konnte. Das Problem mußte also gelöst werden.

Betrachtet man eine typische Amateurfunkstation mit elektromagnetischen Augen, dann ergibt sich folgendes Bild:

Der Computer ist eine elektromagnetische Strahlungsquelle für breitbandige Störspektren, deren Frequenzanteile von der Taktfrequenz, dem Programmablauf, Laufwerkszugriffen und dem aktuellen Bildschirminhalt abhängen.

Die einzelnen Geräte der Station sind metallische Kästen, die mit einer Vielzahl von Leitungen verbunden sind. Diese sind typischerweise einen halben bis etwa drei Meter lang und kommen also auf 10m schon in den Bereich einer Viertelwellenlänge. Das elektromagnetische Wechselfeld des Computers induziert auf diesen parasitären Antennen Ströme, die den Gerätegehäusen zugeführt werden und sich auf diesen verteilen. Durch den HF-mäßig nicht perfekten Aufbau, begrenzte Schirmdämpfung der Koaxialkabel und diffuse Masseverhältnisse gelangen kleine Störströme auch in das Innere unseres Transceivers. Insgesamt ergibt sich eine recht komplexe Störsituation.

Neuere PCs sind bezüglich ihrer Störstrahlung meist besser als ältere, aber DX- und kontestinteressierte Amateure sind damit nicht zufrieden, denn sie wollen die Grenzempfindlichkeit ihrer Transceiver ausnützen, also auch Signale hören, die weit unter $1\mu\text{V}$ liegen.

Eine HF-mäßig voll wirksame Schirmung und Erdung einer aus vielen einzelnen Geräten bestehenden Station wäre extrem aufwendig und kommt deshalb für uns nicht ernsthaft in Betracht.

Die Störfeldstärke des PC können wir ohne aufwendige Umbauten kaum verringern und ohne die Verbindungsleitungen geht es auch nicht. Deshalb bleibt uns nichts anderes übrig als die Störströme möglichst am Eindringen in die Geräte zu hindern. Hierzu müssen wir wirksame Verdrosselungsmaßnahmen ergreifen, die möglichst wenig kosten sollen. An Stückzahl kommt ja einiges zusammen.

Beim Senden befinden sich unsere Station sowie die benachbarten Fernseh-, Rundfunk-, HiFi- und Haustechnikgeräte (z.B. Sprechanlage) meist im Nahfeld unserer Amateurfunkantenne. Dadurch werden auf den Verbindungsleitungen ebenfalls sendefrequente HF-Ströme induziert. Die HF kann z.B. unsere elektronische Morsetaste durcheinanderbringen, SSB-Gebrabbel aus den Lautsprechern kommen lassen und vieles andere mehr.

Die an der Station für den KW-Empfang vorgesehenen Verdrosselungsmaßnahmen wirken auch beim Senden, so daß wir hierfür keine zusätzlichen Maßnahmen brauchen.

Auf die Vermeidung von Störungen von benachbarten Rundfunk- und Fernsehgeräten durch mögliche Oberwellen unseres Senders gehe ich hier nicht ein. Günter Schwarzbeck, DL1BU, hat dieses Thema in [1] bereits ausführlich behandelt.

Neuere Transceiver zeigen ein recht gute Oberwellenabsenkung (z.B. mein TS-850S >60dB), so daß Störungen durch Oberwellen seltener geworden sind. Natürlich kann durch eine übersteuerte Endstufe die Oberwellensituation wieder deutlich verschlechtert werden, da die gängigen PAs im Ausgang meist nur ein einfaches Pi-Filter haben.

3 Die stromkompensierte Drossel

Stellen wir uns z.B. ein Netzkabel vor, das wir mit einigen Windungen um ^{einen} Kern aus magnetischem Material gewickelt haben. Dafür können wir folgendes Ersatzschaltbild zeichnen:

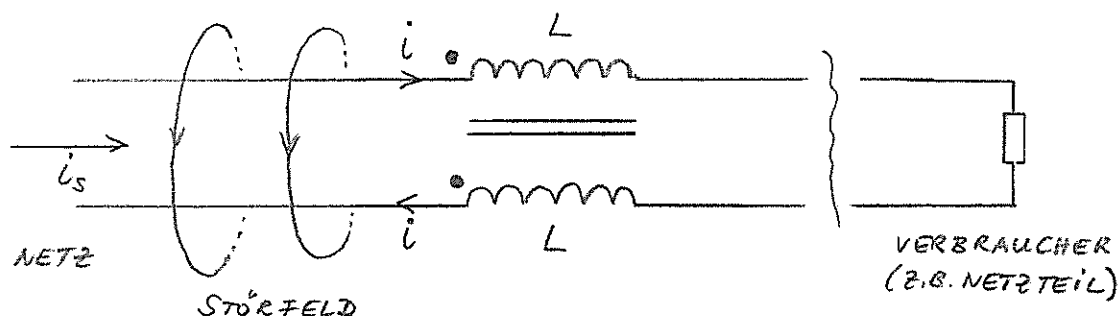


Bild 1 Ersatzschaltbild einer stromkompensierten Drossel

Die beiden Teilwicklungen haben die gleiche Induktivität L , da im Kabel alle Adern (hier nur zwei) mechanisch miteinander verbunden sind. Die beiden parallelen Striche deuten die magnetische Kopplung an. Der Verbraucherstrom i fließt in jedem Zeitpunkt in gleicher Größe aber entgegengesetzter Richtung durch die Wicklungen. Er ist also ein Gegentaktstrom, der keinen magnetischen Fluß im Kern erzeugt, da sich die beiden entgegengesetzten Teilflüsse aufheben.

Befindet sich das Kabel in einem elektromagnetischen Störfeld, dann induziert dessen magnetische Feldkomponente in jeder der beiden Adern einen Störstrom $i_s/2$, der in jedem Zeitpunkt in gleicher Richtung auf jede Teilwicklung trifft. Dieser Gleichtaktstrom erzeugt einen magnetischen Fluß im Kern, der mit der Frequenz des HF-Störfeldes seine Richtung ändert und das magnetische Material aussteuert. Die sich für den Strom i_s ergebende wirksame Induktivität und damit Impedanz hängt entscheidend vom frequenzabhängigen Verhalten des magnetischen Materials ab.

Natürlich ist die Annahme, daß der Verbraucherstrom in beiden Adern gleich groß ist, z.B. durch kapazitive Effekte in der Praxis nicht vollständig erfüllt, aber für zweiadrige Leitungen wie Netz- und Lautsprecherleitungen oder Anschlußleitungen von Morsetasten gilt das doch weitgehend. Bei vieladrigen Steuerleitungen müßte in jedem Zeitpunkt die Summe aller Signalströme Null sein um im Kern keinen magnetischen Fluß zu erzeugen. Dies dürfte etwa bei einem Druckeranschlußkabel wohl kaum der Fall sein. Hier wäre es also möglich, daß durch die Drossel eine Beeinträchtigung der Signalübertragung eintreten könnte. Ich habe so einen Effekt bei den bisher von mir angefertigten Ringkerndrosseln nicht feststellen können.

Bezüglich des Gleichtaktstörstroms i_s ist noch zu sagen, daß die Adern des Kabels bezogen auf die Wellenlänge des Störfeldes sehr nahe beieinander liegen. Deshalb fließt in allen Kabeladern ein etwa gleich großer Anteil von i_s .

4 Materialauswahl

Bei der Auswahl von Kernmaterial für unsere Drosseln müssen wir außer magnetischen, elektrischen und mechanischen Gesichtspunkten auch auf den Preis achten, da für eine größere Amateurfunkstation und deren Umfeld durchaus 20 bis 30 Kerne nötig werden können.

Zu den magnetischen Forderungen ist zu sagen, daß wir mit möglichst wenigen Windungen (etwa 3 - 12) eine möglichst große Gleichtaktinduktivität erzeugen wollen. Dies erfordert ein Material mit hoher Anfangspermeabilität $\mu_i > 1000$, wenn unsere Verdrosselung auch auf 160 und 80m noch wirksam sein soll. Bei runden Netzkabeln der üblichen Stärke passen etwa 7 Windungen auf einen Ringkern mit Außendurchmesser 40mm. Übliches Pulvereisenmaterial z.B. von AMIDON [7] oder PALOMAR [5] hat eine viel zu geringe Permeabilität, abgesehen vom relativ hohen Preis. AMIDON empfiehlt zur Störunterdrückung für den Frequenzbereich 1 bis 40 MHz das Ferritmaterial Nr.77 ($\mu_i=2000$) und für 20 bis 400 MHz das Ferritmaterial Nr.43 ($\mu_i=850$).

Die verwendeten Kerne sollen keine scharfen Kanten haben, an denen z.B. der Mantel und die Aderisolation von Netzkabeln beschädigt werden könnte. Vorteilhaft ist es auch, wenn die Ringkerne mit isolierendem Material beschichtet sind.

Bezüglich der physikalischen Eigenschaften können wir hier nicht auf Einzelheiten eingehen. Ausführliche Informationen zu magnetischen Größen finden wir z.B. in [6], S.103ff.

Zur Beschreibung der Kernverluste definiert man eine komplexe Permeabilität $\underline{\mu}$, die aus dem relativen Real-(Induktivitäts-)Anteil μ_s' und dem relativen Imaginär-(Verlust-)Anteil μ_s'' besteht. Mit dem üblichen Impedanzersatzschaltbild aus einer verlustfrei gedachten Induktivität und einem in Reihe geschalteten Verlustwiderstand erhält man für den Verlustfaktor:

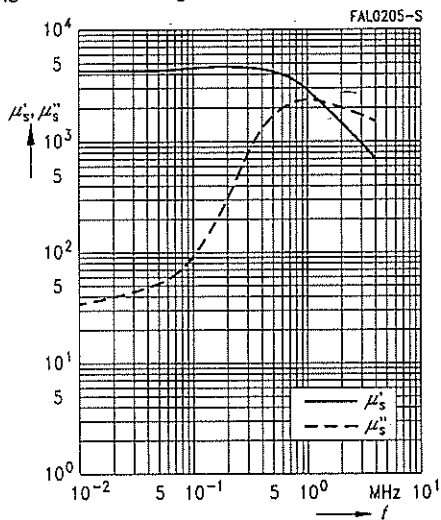
$$\tan \delta_s = \frac{\mu_s''}{\mu_s'}$$

Je größer das Verhältnis μ_s''/μ_s' wird, umso größere Verluste hat der Kern.

Die Impedanz soll möglichst groß sein. In [3] wird für die tiefste Betriebsfrequenz eine Impedanz von mindestens $1k\Omega$ vorgeschlagen.

Bild 2 zeigt für einen Ringkern R10 aus dem Material N30 den Verlauf der Permeabilität und des bezogenen Verlustfaktors jeweils als Funktion der Frequenz.

Komplexe Permeabilität in Abhängigkeit von der Frequenz
(gemessen an Ringkernen R10, $\hat{B} \leq 0,25$ mT)



Bezogener Verlustfaktor in Abhängigkeit von der Frequenz
(gemessen an Ringkernen R20, $\hat{B} \leq 0,25$ mT)

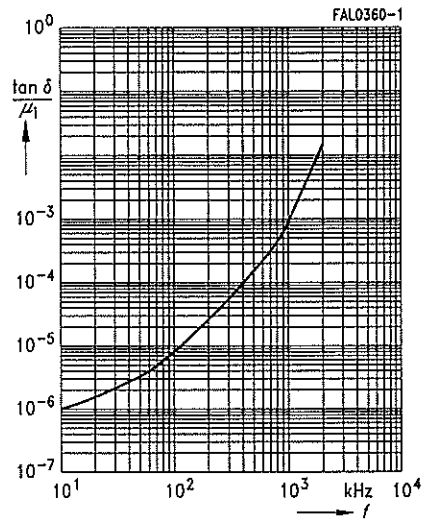


Bild 2 Komplexe Permeabilität und bezogener Verlustfaktor aus [6] gemessen an Ringkernen R10 aus SIFFERIT-Werkstoff N30

Mit steigender Frequenz nehmen die Ummagnetisierungsverluste stark zu. Jenseits einer Grenzfrequenz von etwa 1 MHz nimmt μ_s' und damit die wirksame Induktivität ab, während die durch μ_s'' beschriebenen Verluste ansteigen. Bei 2 MHz lesen wir z.B. aus der linken Kurve ab:

$$\mu_s' \approx 1400, \quad \mu_s'' \approx 2000$$

ab 100 kHz stark

Daraus ergibt sich für die Verluste im Kleinsignalbetrieb:

$$\tan \delta_s = \frac{\mu_s''}{\mu_s'} = 2000/1400 = 1.4$$

Im Bereich des 160m-Bandes hätte eine Drossel aus diesem Material also noch eine Permeabilität von über 1000 bei der sehr geringen Güte von 1.4. Dies erklärt die Tatsache, daß man mit den üblichen Q-Meßgeräten bei N30-Spulen in diesem Frequenzbereich keine Güte mehr messen kann. *0,71*

Verlängern wir die μ_s' -Kurve bis 10 MHz, so lesen wir einen Wert von etwa 300 ab.

Für unsere Zwecke ist das Material N30 also recht gut geeignet. Es ist leicht verfügbar und relativ preisgünstig. Die daraus gefertigten Ringkerne haben abgerundete Kanten und einen Überzug aus Polyamid.

Die Seite D 96 des aktuellen Kataloges der Fa. Bürklin [9] zeigt alle wichtigen Daten und Preise sehr übersichtlich:

Ringkerne Typ Siemens B64290-.. (D126.200)

Kerntyp	Maße			Magnetische Formkenngrößen			
	d _a mm	d _i mm	h mm	Σ I/A mm ²	A _s mm	V _s mm ³	W _s mm ³
R2,5	2,5±0,12	1,5±0,1	1,0±0,1	12,30	6,06	0,53	3,0
R4	4,95max.	1,45min.	2,5 max.	7,69	9,67	1,30	12,1
R6,3	7,25max.	2,85min.	3,4 max.	4,97	15,25	3,10	46,6
R10	11,0max.	5,05min.	4,95max.	3,07	24,12	7,87	188
R12,5	13,6max.	6,5 min.	5,95max.	2,46	30,14	12,28	368
R16	17,2max.	8,5 min.	7,3 max.	1,95	38,56	19,77	760
R20/7	21,2max.	8,75min.	8,2 max.	1,30	43,60	33,68	1465
R25/10	26,8max.	13,5min.	11,0max.	1,17	60,11	51,31	3079
R34/10	35,5max.	19,2min.	11,1max.	1,24	82,11	66,12	5420
R34/12,5	35,5max.	19,2min.	13,6max.	0,99	82,11	82,64	6780
R36	37,5max.	21,7min.	16,2max.	0,94	89,70	95,93	8600
R40	42,0max.	22,5min.	17,2max.	0,77	96,30	125,30	12060
R42	43,6max.	24,8min.	13,6max.	1,08	103,07	95,80	9860
R50	51,8max.	28,5min.	21,3max.	0,62	120,40	196,00	23555
R58	60,1max.	39,2min.	18,8max.	1,00	152,40	152,40	23220

beschichtet mit Polyamid (0,2 bis 0,4 mm), Kerntypen R 2,5 und R 4 sind lackiert (0,1 mm). Die Kerne sind aus Siferrit-Werkstoffen entsprechend den Eigenschaften und Maßen obiger Tabelle. Tabellenangaben: Typ, Kerntyp lt. Datentabelle (R), Al-Wert (nH).

Typ	Bestell-Nr.	Stückpreis ab
		1 5 10

Ausführung aus Werkstoff N27 Typ B64290-..

Anfangspermeabilität: 2000, weitere Werkstoffeigenschaften sind in nachfolgender Siferrit-Werkstofftabelle beschrieben.

K44-X27, R 12,5, 770 nH	84 D 140
K45-X27, R 16, 970 nH	84 D 142
K632-X27, R 20/7, 1450 nH	84 D 144
K618-X27, R 25/10, 1520 nH	84 D 146

Ausführung aus Werkstoff N30 Typ B64290-..

Anfangspermeabilität: 4300, Al-Wert-Toleranz: ±25 %.

J35-X830, R 2,5, 440 nH	84 D 150
J36-X830, R 4, 710 nH	84 D 160
K37-X830, R 6,3, 1090 nH	84 D 170
K38-X830, R 10, 1760 nH	84 D 180
K44-X830, R 12,5, 2210 nH	84 D 190
K45-X830, R 16, 2770 nH	84 D 200
K632-X830, R 20/7, 4100 nH	84 D 210
K618-X830, R 25/10, 4600 nH	84 D 220
K58-X830, R 34/10, 4700 nH	84 D 230
K48-X830, R 34/12,5, 5300 nH	84 D 240
K674-X830, R 36, 5780 nH	84 D 242
K659-X830, R 40, 6900 nH	84 D 244
K22-X830, R 42, 5000 nH	84 D 246
K82-K830, R 50, 8700 nH	84 D 248
K40-K830, R 58, 5400 nH	84 D 260

Ausführung aus Werkstoff T35 Typ B64290-..

Anfangspermeabilität: 6000, Al-Wert-Toleranz: +25/-30 %.

K632-X35, R 20/7, 5800 nH	84 D 2602
K618-X35, R 25/10, 6100 nH	84 D 2604

Ausführung aus Werkstoff T38 Typ B64290-..

Anfangspermeabilität: 10000, Al-Wert-Toleranz: +25/-40 %.

K36-X38, R 4, 1640 nH	84 D 2612
K37-X38, R 6,3, 2540 nH	84 D 2614
K38-X38, R 10, 4100 nH	84 D 2616
K44-X38, R 12,5, 5130 nH	84 D 2618
K45-X38, R 16, 6440 nH	84 D 2620

Dämpfungspulver Typ Siemens B62110.. (D127.400)

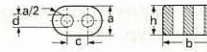


aus Siferrit-Werkstoff N22, nach IEC-Publ. 220. Tabellenangaben: Typ, Maße da/d1/d2.

A3011, da 3,5/d1 1,2/1 3,3 mm	84 D 270
A3007, da 3,5/d1 1,2/1 5,2 mm	84 D 272
A3063, da 3,5/d1 1,2/1 8,0 mm	84 D 274

Doppellockkerne Typ Siemens B62152.. (D127.500)

D 96



für HF-Anwendungszwecke, Siferrit-Werkstoffe: K1 (bis 250 MHz), U17 (bis 500 MHz), N30 (für tiefere Frequenzen und für Anwendungen in der Impulstechnik). Die Kerne entsprechen DIN 41279, Form G. Abmessungen: h 14,5 bzw. 8,3, b 14,5, a 8,5, c 5,85, d 3,4 mm. Tabellenangaben: Typ, Werkstoff, Abmessung h (Höhe), Al-Wert ca.

Typ	Bestell-Nr.	Stückpreis ab
		1 5 10

A1-X1, K1, 14,5 mm, 320 nH	84 D 280
A4-X1, K1, 8,3 mm, 195 nH	84 D 282
A4-X17, U17, 8,3 mm, 28 nH	84 D 284
A4-X30, N30, 8,3 mm, 10000 nH	84 D 286

Ausführung in Bauform A 7 Typ B62152..

Maße: h 6,2, b 7,25, a 4,2, c 2,9, d 1,7 mm.

A7-X17, U17, 20 nH	84 D 290
A7-X1, K1, 140 nH	84 D 292
A7-X30, N30, 7530 nH	84 D 294

Ausführung in Bauform A 8 Typ B62152..

Maße: h 2,5, b 3,6, a 2,1, c 1,45, d 0,8 mm.

A8-X17, U17, 9,0 nH	84 D 300
A8-X30, N30, 3100 nH	84 D 305

Beschreibungen für SIFERRIT-Werkstoffe (D127.900)

SIFERRIT-Werkstoffe

Bevorzugte Anwendung	Werkstofftabelle					
	Spulen für Resonanzkreise			Breitbandübertrager		
Werkstoffe	K1	M33	N48	N26	N30	T38
Kennfarbe	violett	weiß	-	-	-	-
Anfangspermeabilität μi	80 ±20%	750 ±20%	2000 ±20%	2300 ±20%	4300 ±20%	10000 ±30%
günstigstes Frequenzgebiet	f _{min} MHz 1,5	f _{min} MHz 0,2	f _{min} MHz 0,001	-	-	-
bezog. Verlustfaktor tan δ μi	<40	<12	<0,5	<5	-	-
Curietemperatur °C	>400	>200	>150	>150	>140	>130
Koerzitivfeldstärke A/m	500	100	20	20	13	4
Induktion β bei If= 3000 A/m	360	450	390	390	360	380
spezifischer Gleichstromwiderstand ρ Ω m	10 ⁶	5	3	2	0,5	0,1
Hysteresematerialkonstante 10 ⁶ mT	<36	<1,8	<0,4	<1,5	<1,1	<1,4
bezogener Temperaturbeiwert α μi	bei 20...55 °C 2...6	bei 20...5 °C 1...5	bei 20...25 °C 1...5	0,4...1,0	0...1,5	-
Schwerpunkt von α μi	bei 20 bis 55 °C 4	1,6	0,7	-	1	0,5
Desakkommodationsfaktor DF bei 60 °C	10 ⁴	<35	<12	<4	-	-
bei 20 °C	10 ⁴	20	8	2	-	-
Dichte kg/m ³	4400	4500	4700	4700	4800	4900

SIFERRIT-Werkstoffe

Bevorzugte Anwendung	Werkstofftabelle					
	Leistungsübertrager			Schwingkreisinduktoren, Übertrager, Drosseln, Näherungsschalter		
Werkstoffe	N27	N67	N41	U17	K12	N22
Kennfarbe	-	-	-	grau	gelb	rot
Anfangspermeabilität μi	2000 ±20%	2300 ±25%	3000 ±20%	10 ±20%	26 ±25%	1900 ±25%
günstigstes Frequenzgebiet	f _{min} MHz 0,15	f _{min} MHz 0,3	f _{min} MHz 0,15	10	3	0,001
bezog. Verlustfaktor tan δ μi	-	-	-	<100	<150	<20
Curietemperatur °C	>220	>220	>220	>550	>450	>145
Koerzitivfeldstärke A/m	20	18	20	1500	1200	30
Induktion β bei If= 3000 A/m	510	510	510	-	145	390
spezifischer Gleichstromwiderstand ρ Ω m	3	4	2	10 ⁶	10 ⁶	1
Hysteresematerialkonstante 10 ⁶ mT	<1,5	<1,4	<1,4	<27	<45	<1,4
bezogener Temperaturbeiwert α μi	bei 20...55 °C -	bei 20...5 °C -	bei 20...25 °C -	-	3...14	0,6...1,6
Schwerpunkt von α μi	bei 20 bis 55 °C 3	4	4	40	10	0,9
Desakkommodationsfaktor DF bei 60 °C	10 ⁴	-	-	-	<50	<7
bei 20 °C	10 ⁴	-	-	-	4	4
Dichte kg/m ³	4800	4800	4800	4200	4300	4700

Preisangabe ohne Mehrwertsteuer

Ich habe festgestellt, daß man mit den vier Ringkerngrößen R10, R25/10, R34/12.5 und R40 die meisten auftretenden Fälle abdecken kann. Größere Kerne wären bei dicken Netzkabeln manchmal günstiger, sind aber sehr teuer. Wenn man sich auf einige wenige Standardtypen beschränkt, dann lohnt sich die Beschaffung einer größeren Stückzahl. Die Rabatte sind erheblich. Vielleicht ist auch eine Sammelbestellung für Ihren Ortsverband sinnvoll.

Im ARRL-Handbook 1996 [8] findet sich auf der Seite 28.7 folgende Warnung:

Warning: Surplus Toroidal Cores

Don't use an unknown core or an old TV yoke core to make a common-mode choke. Such cores may not be suitable for the frequency you want to remove. If you try one of these "unknowns" and it *doesn't* work, you may incorrectly conclude that a common-mode choke won't help. Perhaps the correct material would have done the job.

Ferrite beads are also used for EMI control, both as common-mode chokes and low-pass filters. It takes quite a few beads to be effective at the lower end of the HF range, though. It is usually better to form a common-mode choke by wrapping about 10 to 20 turns of wire or coaxial cable around an FT-140 (1.4-inch OD) or FT-240 (2.4-inch OD) core of the correct material. Mix 43 is a good material for most of the HF and VHF ranges. — *Ed Hare, KA1CV, ARRL Laboratory Supervisor*

Hier wird also vor der Verwendung von Material gewarnt, dessen magnetische Eigenschaften nicht bekannt sind, weil dies zur irrigen Annahme führen kann, daß eine Gleichtakt-drossel an der besagten Stelle nichts helfen würde. Diese Warnung kann ich nur unterstreichen. Auch auf die für tiefe KW-Frequenzen geringe Wirksamkeit von sog. beads (halbierte Kerne mit zylindrischem Innenloch) weist Ed Hare hin. Diese Kerne werden in Form von Klappferriten z.B. von den Herstellern von Videokabeln verarbeitet.

5 Wickeltechnik

Hier gibt es eigentlich nicht viel zu sagen, denn die Sache ist ja recht einfach. Die Arbeit beginnt bei Netzkabeln meist damit, daß man den Netzstecker entfernen muß. Bei Audiokabeln mit Cynch-Stecker kann der Stecker bei Verwendung von R40-Kernen manchmal am Kabel bleiben. Nachdem man die zum Kabel passende Ringkerngröße gewählt hat, berechnet man aus dem inneren Umfang und dem Kabeldurchmesser die maximal mögliche Windungszahl. Aus den Abmessungen des Kerns ermittelt man die für eine Windung erforderliche Kabellänge und daraus mit der Windungszahl die Kabellänge für die gesamte Wicklung. Die erste und letzte Windung legt man mit je einem Kabelbinder passender Größe fest. Leute mit kräftigen und handwerklich trainierten Händen sind beim Wickeln klar im Vorteil.

Im ARRL Handbook 1992 wurde empfohlen, nach der halben Windungszahl die Seite zu wechseln und im selben Wicklungssinn weiter zu wickeln, da dies angeblich weniger Parasitärkapazität ergeben sollte, Bild 3. Dies konnten meine eigenen Messungen nicht bestätigen (sh. Abschnitt 6, lfd.Nr. 9 und 10). Im ARRL Handbook 1996 [8] wird dies auch nicht mehr empfohlen, Bild 4.

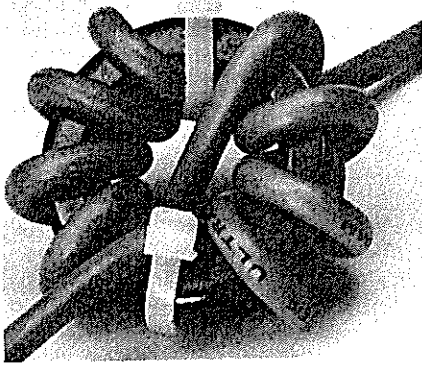


Fig. 7 — Winding the cable on a ferrite toroid is an effective shield current suppressor in some cases. Reversing the winding as pictured allows more turns with less shunt capacitance. RG-58 will suffice for moderate power applications. The most important property of the cable is complete shielding — avoid "bargain" cable having less than 95-percent braid coverage.

Bild 3
Wicklung mit Wechsel

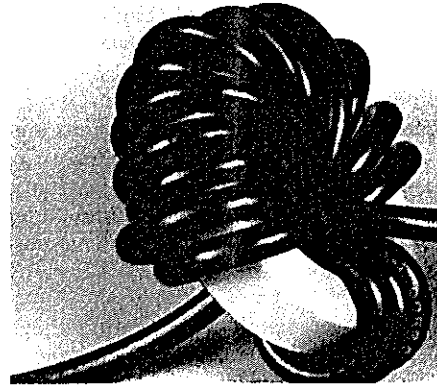


Fig 28.14 — Several turns of coax on a ferrite core eliminate HF and VHF signals from the outside of a coaxial cable.

Bild 4
Wicklung ohne Wechsel

Hier noch eine persönliche Anmerkung:

Ich hatte für meine Station und die HiFi-Geräte im eigenen Haus immer die Kabel einfach der Reihe nach ohne Seitenwechsel um die Ringkerne gewunden. Hartmut, DJ8WD, hatte bei der Entstörung seiner Station alle Ringkerne nach dem Vorschlag im Handbook mit Seitenwechsel gewickelt. Dabei kommen die Wicklungsenden auf gegenüberliegenden Seite zu liegen, was zweifellos mechanisch günstiger ist. Außerdem wurde im Handbook "... allows more turns with less shunt capacitance" empfohlen. Jetzt war guter Rat teuer. Sollte ich die 30 bei mir verarbeitenden Ringkerndrosseln neu wickeln? Vielleicht waren sie nach meiner simplen Wickeltechnik HF-mäßig viel zu wenig wirksam? Um dies zu klären, verwendete ich den einfachen Meßaufbau, der im nächsten Abschnitt beschrieben wird. Die Ergebnisse bewogen mich, diesen Bericht zu verfassen.

6 Messung der Drosseldämpfung im 50Ω-System.

In der EMV-Branche ist es üblich, den Scheinwiderstand Z (Betrag der komplexen Impedanz) einer Drossel als Funktion der Frequenz in Kurven darzustellen, [4], [8]. Für mich war es meßtechnisch einfacher, die Drosseldämpfung als Einfügungsdämpfung (insertion loss) im 50Ω-System zu messen, Bild 5. Man kann den Scheinwiderstand Z aus der Dämpfung leicht ausrechnen.

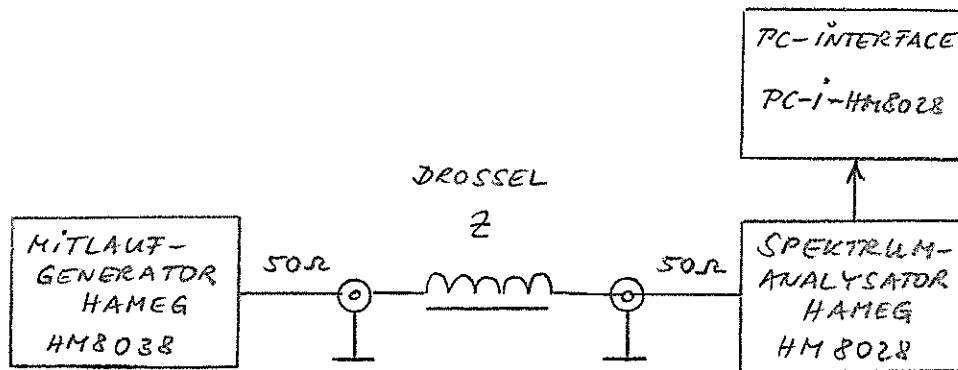


Bild 5 Meßaufbau

Natürlich werden unsere Drosseln in der Praxis nie in einem 50Ω-System betrieben. Darauf kommt es aber hier nicht an, denn wir sind ja nur an der frequenzabhängigen Drosselimpedanz interessiert, um herauszufinden, welcher Drosselaufbau der wirksamste ist. Der bei der Messung über die Drossel fließende Strom simuliert sozusagen den Störstrom, der beim praktischen Betrieb der Drossel am Kabel im HF-Störfeld auftritt. Mit dem Meßaufbau nach Bild 5 sind im Frequenzbereich 0,5 - 50 MHz aufreicend genaue Messungen möglich. Bild 6 zeigt als Beispiel die drei Dämpfungskurven für die Drosseln Nr. 9, 10 und 11.

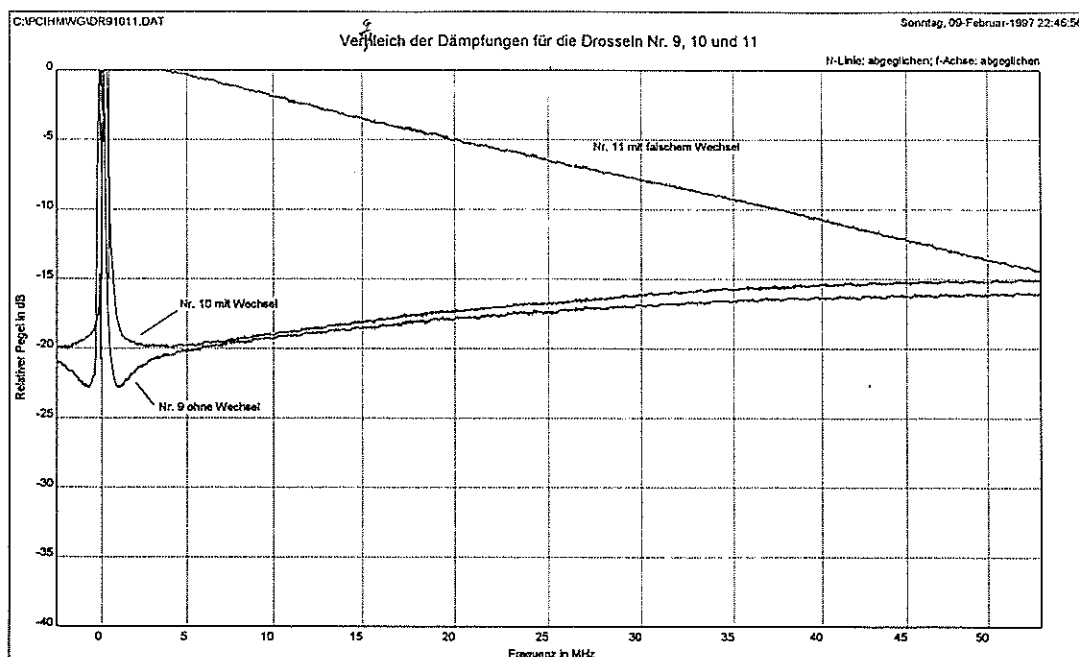


Bild 6

Insgesamt wurden 23 verschiedene Drosseln gemessen. Deren Aufbau und die Dämpfungswerte sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt. Die Spalte "NF-Indukt" enthält Werte für die Niederfrequenzinduktivität, die mit dem LC-Meter HM8018 von HAMEG bei der in kHz angegebenen Frequenz gemessen wurden.

1fd Nr	Kern	Wicklung	NF-Indukt μH (kHz)	Dämpfung in dB bei MHz						Bemerkungen Meßbed./Anwendg.
				1.8	3.5	7	14	21	28	
1	R10-N30	9.5 Wdg. Schaltdraht ϕ 0.5mm, ohne Wechsel	208 (1.6)	20.6	22.7	23.7	22.5	21.2	20.5	für Verdrosselung innerhalb Geräten
2	R25/10-N30	8 Wdg. RG-174A/U, mit Wechsel	539 (1.6)	20.4	20.8	20.6	19.9	19.1	18.7	Messung zwischen Schirm und Schirm
3	R25/10-N27	8 Wdg. RG-174A/U, mit Wechsel	277 (1.6)	26.8	23.9	21.4	19.8	18.8	18.0	Messung zwischen Schirm und Schirm
4	R25/10-T35	8 Wdg. RG-174A/U, mit Wechsel	737 (1.6)	20.9	20.5	19.9	19.0	18.2	17.7	Messung zwischen Schirm und Schirm
5	R34/12.5-N30	8 Wdg. Netzdoppel- litze, $2 \times 0.75\text{mm}^2$, flach, mit Wechsel	519 (1.6)	20.2	20.0	19.8	19.1	18.4	17.8	beide Leiter an beiden Enden ver- bunden
6	R40-N30	12 Wdg. RG-174A/U, ohne Wechsel	908 (1.6)	29.4	27.0	25.4	22.7	21.0	19.9	Messung zwischen Schirm und Schirm
7	R40-N30	8 Wdg. RG-58C/U, mit Wechsel	592 (1.6)	21.4	21.6	21.1	19.9	18.8	18.0	Messung zwischen Schirm und Schirm
8	R40-N30	6 Wdg. Netzkabel, rund ϕ 6mm, $3 \times 0.75\text{mm}^2$ mit Wechsel	370 (1.6)	14.3	15.0	15.6	15.8	15.3	14.9	alle drei Leiter an beiden Enden verbunden
9	R40-N30	7 Wdg. Netzkabel, flach, $2 \times 0.75\text{mm}^2$ ohne Wechsel	425 (1.6)	21.8	20.5	20.0	18.6	17.7	17.2	beide Leiter an beiden Enden ver- bunden
10	R40-N30	7 Wdg. Netzkabel, flach, $2 \times 0.75\text{mm}^2$ mit Wechsel	462 (1.6)	20.2	20.3	19.8	18.6	17.7	16.9	beide Leiter an beiden Enden ver- bunden
11	R40-N30	8 Wdg. Netzkabel, flach, $2 \times 0.75\text{mm}^2$ mit falschem Wechsel	1.3 (16)	0.2	0.5	1.3	3.6	5.8	7.7	beide Leiter an beiden Enden ver- bunden
12	T106-2 Pulver- eisen	10 Wdg. RG-174A/U, ohne Wechsel	1.8 (16)	0.2	0.4	1.4	3.5	5.6	7.7	Messung zwischen Schirm und Schirm
13	2 x R25/10-N30	2 x 10 Wdg. RG-174A/U ohne Wechsel, 2 RKe in Reihe, Abst. 20mm	1108(1.6)	26.7	27.7	28.2	27.2	25.9	24.5	Messung zwischen Schirm und Schirm
14	Stabkern aus MW- Radio 57x13x4.2	7.5 Wdg. Netzdoppel- litze, $2 \times 0.75\text{mm}^2$, 7.5 Wdg., Windung an Windung gewickelt	2.4 (16)	0.3	0.8	2.3	5.9	8.9	11.3	beide Leiter an beiden Enden ver- bunden
15	Klappferrit "KG", ws, zyl. $d_a=16.3$ $d_i=8.1$, $l=16.2$	RG-174A/U, gerade durchgesteckt	0.5 (16)	0.2	0.2	0.5	1.3	2.0	2.4	Messung zwischen Schirm und Schirm
16	Klappferrit "Jm", sw, Quader 30x19x18.4 $d_i=10$	RG-174A/U, gerade durchgesteckt	0.5 (16)	0.2	0.2	0.3	0.7	1.3	1.8	Messung zwischen Schirm und Schirm

Tabelle 1 Meßergebnisse (Maße ohne Einheit in mm)

Tfd Nr	Kern	Wicklung	NF-Indukt μH (kHz)	Dämpfung in dB bei MHz						Bemerkungen Meßbed./Anwendg.
				1.8	3.5	7	14	21	28	
17	3 x Klappferrit "Jm", sw, Quader 30x19x18.4 $d_1=10$	Steuerleitung, rund, ϕ 6.5mm, 10 Adern, geschirmt, gerade durchgesteckt	3.7 (16)	1.3	2.9	5.2	8.1	9.7	10.8	Messung zwischen Schirm und Schirm
18	2 x T225-6 Pulvereisen aufeinander geklebt	12 Wdg. Netzkabel, rund, ϕ 6mm, 3 x 0.75mm ² , ohne Wechsel	3.8 (16)	0.6	1.7	4.3	9.6	14.0	17.2	Adern nicht ver- bunden, Messung zwischen den Enden einer Ader
19	UKW-Drossel ähnl. VK200 Sechslach- Ferritkern	1.5 Wdg. verzinnter Cu-Draht, ϕ 0.6mm	14.3 (16)	2.9	5.0	7.5	9.7	10.4	10.9	direkt am Kern gemessen
20	2 x R40-N30 axial auf- einander- liegend	7 Wdg. Netzkabel, rund, ϕ 6mm, 3 x 0.75mm ² , ohne Wechsel	699(1.6)	21.7	21.8	21.1	19.8	18.8	17.7	Adern nicht ver- bunden, Messung zwischen den Enden einer Ader
21	UKW-Drossel SIEMENS, 40 μH , 0.2A	entspr. VDE 565-2, typ. Entstördrossel für Netzanwendungen	36.1 (16)	10.9	17.2	22.4	31	39	55	direkt am Kern gemessen, erste Parallelresonanz bei etwa 28.3MHz
22	HF-Drossel, Typ Fastron SMCC mit Phenolkern, 100 μH , 370mA $R_{DC}=1.7\Omega$	Bürklin Bestell-Nr. 74D324, Katalog '96/'97, Seite D69	102.3(16)	20.1	29.1	38	22.9	19.1	16.5	direkt am Kern gemessen, erste Parallelresonanz bei etwa 5.8MHz
23	HF-Drossel, Kreuzwickel 2.5mH, $R_{DC}=43\Omega$, ϕ 12.3mm, T=25mm	typ. Drossel wie bei Röhrengeräten üblich Hersteller wahrsch. Fa. JAHRE	2.54mH (1.6)	50	59	51	40	40	38	direkt am Kera- mikkörper gemes- sen, keine ausge- prägte Parallel- resonanz fest- bar

Tabelle 1 (Forts.) Meßergebnisse (Maße ohne Einheit in mm)

Diskussion der Meßergebnisse:

Die Dämpfungswerte sprechen weitgehend für sich. Als geschirmte Steuerleitung habe ich bei einigen Drosseln wegen der leichten Verarbeitung das dünne Koaxialkabel RG-174A/U verwendet. Der SIFFERIT-Werkstoff N27 ist für die Bänder 160m und 80m etwas günstiger (vgl. Nr. 2 und 3). Die Drossel Nr. 6 liefert von allen Ringkerndrosseln in der Tabelle die höchste Dämpfung. Ein Vergleich der Drosseln Nr. 9 und 10, zeigt, daß der Seitenwechsel die Dämpfung sogar geringfügig verringert. Fatal ist es, wenn man im falschen Wicklungssinn weiterwickelt, sh. Nr. 11 (OM Waldheini läßt grüßen!). Aus dem Ergebnis für Nr. 12 und 18 sieht man, daß die geringe Permeabilität von Pulvereisen bei tiefen Frequenzen nur geringe Dämpfung erlaubt. Nr. 14 habe ich aufgenommen, da oft behauptet wird, man müsse nur einige Windungen um einen Stabkern aus einem alten Mittelwellenradio aufwickeln und erhalte eine wirksame Drossel. Es zeigt sich, daß erst ab 14 MHz eine nennenswerte Dämpfung erzielt wird. Die Aussage aus Abschnitt 4 von Ed Hare zu den Klappferriten bestätigen die Meßergebnisse für die Drosseln Nr. 15, 16 und 17. Die erreichbaren Dämpfungen sind bescheiden. Recht bemerkenswert ist die hohe Dämpfung und Resonanzfreiheit der Kreuzwickeldrossel (Nr. 23), die man also innerhalb von Geräten für hartnäckige Störfälle durchaus empfehlen kann.

7 Hinweisliste zur Lösung von EMV-Problemen an Amateurfunkstationen

- Verbindungskabel sollten immer so kurz wie möglich sein
- Kabel, auf die z.B. wegen angepreßter Spezialstecker keine Ringkerndrossel aufgebracht werden kann, sollten aufgewickelt und mit Isolierband fixiert werden, damit sie möglichst wenig als Antenne wirken.
- auf die Ringkerne sollte man immer so viele Windungen wie möglich wickeln
- die Ringkerndrossel immer so nah wie möglich am Gerätegehäuse anbringen
- an kritischen Stellen zwei oder drei Ringkerne für die Drossel verwenden. Beispiel: geregeltes Linearnetzteil für die Stromversorgung des Transceivers; eine mögliche HF-Einströmung über das Netzkabel kann gefährlich sein (evtl. Spannungsanstieg beim Senden!)
- Empfangsstörungen abhören und feststellen, ob sich das Störgeräusch mit dem Bildschirminhalt am Monitor ändert. Wenn ja, ist das ein Hinweis auf das Videokabel und/oder Monitornetzkabel als Störursache
- Schwarz-Weiß-Bildschirme stören meist weniger als Farbbildschirme
- Erdungsschrauben der Geräte (Transceiver, Endstufe, Anpaßgerät, usw.) mit einem gemeinsamen Erdungspunkt verbinden und dort evtl. je ein $\lambda/4$ -Drahtstück für 15m und 10m als künstliche Erde (Radial) anschließen. Nur selten wird es möglich sein, den gemeinsamen Erdungspunkt HF-mäßig kalt zu bekommen. Schließen Sie möglichst auch das Metallgehäuse des Computers an den gemeinsamen Erdungspunkt an.
- Kabel entfernen, die nur an einer Seite eingesteckt sind (z.B. weil der Drucker gerade nicht angeschlossen ist)
- manche Spiralkabel für den Anschluß der Tastatur sind nicht geschirmt und sollten deshalb durch geschirmte Kabel mit Ringkerndrosseln an beiden Enden ersetzt werden. Dies ist relativ einfach, da für die üblichen PC-Tastaturen nur fünf Adern erforderlich sind. Die Tastaturen haben meist ein Kunststoffgehäuse und deshalb kann möglicherweise beim Senden HF eindringen. In [10] wird empfohlen, die Unterseite des Kunststoffgehäuses mit Aluminiumfolie zu bekleben und diese mit dem Kabelschirm zu verbinden.
- Empfangsstörungen, die durch Laufwerkszugriffe (Festplatte, Diskette, CD-ROM) verursacht werden, lassen sich durch Befehle, die solche Zugriffe verursachen, feststellen (z.B. Befehl "dir" viele Male in eine MS-DOS-Prozedur eingeben und diese starten)
- die üblichen Schaltnetzteile in PCs strahlen oft über das angeschlossene Netzkabel ein Oberwellenstörpektrum der Schaltfrequenz (z.B. 100 kHz) ab, dessen Frequenzanteile beim Empfang über das Band wandern und oft durch Heulen oder Jaulen gekennzeichnet sind. Hiergegen hilft ein direkt am PC angebrachtes Netzfilter [4] oder eine Drossel aus mehreren R40-Ringkernen möglichst nah am Netzteilgehäuse.
- bei Anschlußkabeln von passiven Stationskomponenten wie Handtaste, Geber für elektronische Morsetaste, Fußschalter, Kopfhörer, usw. ist nur eine Ringkerndrossel auf der Geräteseite erforderlich
- räumlich große Spulen (z.B. Rollspulen in Anpaßgeräten) können über die magnetische Feldkomponente Störenergie aufnehmen; Abhilfe ist durch eine Abschirmhaube möglich
- bei Kabeln, die hohe Gleichströme führen (z.B. Anschlußkabel vom 13.8V-Netzteil oder Akku zum Transceiver, typisch 20A bei den üblichen 100W HF-Ausgangsleistung) kann eine starke Gleichstromvormagnetisierung des Drosselkerns entstehen, die die HF-Drosselwirkung stark herabsetzt. Die Plus- und Minusleitung müssen deshalb auch bifilar gewickelt werden.

- überzeugen Sie sich selbst davon, ob eine gemeldete Einstrahlstörung wirklich von Ihrem Sender hervorgerufen wird. Verlassen Sie sich nicht allein auf den Störbericht der Person, deren Anlage gestört wird. Lassen Sie Ihre Station durch einen anderen Funkamateurl bedienen und hören Sie sich die Störung an der gestörten Anlage selbst an, [3].
- lassen Sie sich nicht so schnell entmutigen! Ausdauer ist gefragt, da erst die Summe aller Maßnahmen zum gewünschten Erfolg führt.

8 Zusammenfassung

Dieser Beitrag sollte zeigen, wie man mit relativ einfachen Maßnahmen ohne Umbauten an den Geräten EMV-Probleme in und um die Amateurfunkstation in den Griff bekommen kann. Natürlich ist ein gewisser Arbeitsaufwand nötig und es entstehen auch Kosten. Wir werden aber dadurch belohnt, daß wir bei eingeschaltetem PC wieder schwache DX-Signale hören können und daß Familie und Nachbarn durch den Funkbetrieb nicht mehr gestört werden.

9 Danksagung

Ich danke Horst Jelen, DL3MII, für die Überlassung einer größeren Zahl von Klappferriten. Bei meinem Sohn Leo bedanke ich mich für das Korrekturlesen und manche nützliche Hinweise während der Messungen. Schließlich danke ich Hartmut Probsthain, DJ8WD, für viele anregende Diskussionen in den letzten 28 Jahren.

10 Literatur

- [1] Günter Schwarzbeck, DL1BU,
TVI und BCI durch Oberwellen,
cq-DL 12/82, S.593-600
- [2] REDUCING RF BREAKTHROUGH USING FERRITE RINGS,
RADIO SOCIETY OF GREAT BRITAIN (RSGB), 1985
Dieses vierseitige Merkblatt wurde auf der HamRadio 1993 in
Friedrichshafen verteilt
- [3] Scott Ellington, K9MA,
SIMPLE RFI CURES,
QST, January 1992, S.96
Knappe Zusammenfassung aller wesentlichen Entstörmaßnahmen
- [4] S+M Siemens Matsushita Components,
"EMV Bauelemente - Kondensatoren Drosseln, Filter",
Datenbuch 1992/93,
Herausgegeben von Siemens Matsushita Components GmbH & Co. KG,
Marketing Kommunikation,
Bestell-Nr. B4-P2403, DB 109112

- [5] RFI Tip Sheet,
Using Ferrite Beads to Keep RF Out Of TV Sets, Telephones, VCR's,
Burglar Alarms and Other Electronic Equipment, Ausgabe 8-93
Palomar Engineers, P.O.Box 462222, Escondido, CA 92046, U.S.A.,
Telefon 001/619/747-3343
Zweiseitiges Merkblatt mit vielen praktischen Hinweisen
- [6] S+M Siemens Matsushita Components,
Datenbuch "Ferrite und Zubehör", Ausgabe 1994,
Herausgegeben von Siemens Matsushita Components GmbH & Co. KG,
Marketing Kommunikation,
Bestell-Nr. B461-P6136, DB 04949,
Ausführliches Datenbuch mit 609 Seiten; enthält Werkstofftabellen
und -kurven aller SIFFERIT-Werkstoffe, Begriffsbestimmungen,
Verarbeitungshinweise und Maße und Daten von allen gängigen Kernformen
- [7] IRON-POWDER AND FERRITE COIL FORMS; EMI SUPPRESSION
FERRITES, TOROID MOUNTS, CONFORMAL INDUCTORS,
CUSTOM FILTER CHOKES, AIR COILS, CUSTOM COIL WINDINGS,
Katalog April 1995, Preis. \$ 8.00,
AMIDON, Inc., 240 Briggs Avenue, Costa Mesa, CA 92626, U.S.A.,
Neue Adresse seit Oktober 1996!
Telefon 001/714/850-4660, Telefax 001/714/850-1163
Sehr ausführlicher Katalog mit vielen Hinweisen auch zum Thema EMV
- [8] THE ARRL HANDBOOK FOR RADIO AMATEURS 1996,
Seventy-Third Edition,
The American Radio Relay League, Newington, CT 06111, U.S.A.
Kapitel 28 "Electromagnetic Interference (EMI)",
S.28.1 bis 28.14
- [9] Bürklin OHG, Katalog '96/'97,
80336 München, Schillerstraße 41,
Telefon 089/55875-0, Telefax 089/55875-421 und
40211 Düsseldorf, Am Wehrhahn 80,
Telefon 0211/9067-0, Telefax 0211/9067-125
- [10] Franc Bogataj, S59AA,
RF And Computers - Reducing Interference between radios
and computers,
CQ Contest, March 1996, S.36-37